Tıp ve teknolojide çok çeşitli kullanım alanı olan

Kaliforniyum252 Nedir, Ne İşe Yarar?

Nasıl bir madde, nerede üretiliyor, neden çok pahalı? Atom bombası yapılabillir mi?

Yüksel Atakan, Dr. Radyasyon Fizikçisi, ybatakan@gmail.com - Almanya

19.03.2018 günü medyada, polis operasyonu sonucunda, piyasa değeri 5,5 milyar dolar olan yaklaşık 1,5 kg Kaliforniyum radyoaktif maddesinin Ankara Pursaklarda ele geçirildiği, bunun yurt dışına 72 milyon dolara satılmak istendiği, 4 kişinin gözaltına alındığı haberi yer aldı. Ertesi günü Türkiye Atom Enerjsi Kurumu'nun yaptığı açıklamada ise, yapılan ölçümler sonunda, bu maddenin kaliforniyum maddesi olmadığı, herhangi bir radyoaktivite özelliği bulunmadığı açıklandı /1/.
Biz bu olay ve yazılanları bir yana bırakarak, kaliforniyum ile ilgili bilgileri ve dünyadaki gelişmeleri burada kısaca vermeye ve konuya yabancı bir çok kişinin aklına takılan soruları oldukça basit anlatımla yanıtlamaya çalışacağız. Buna rağmen hemen şu söylenebilir: Kaliforniyum 252'den dünyada sadece toplam 100 miligram kadar az bulunuyor. Bu nedenle, Ankara'da 1,5 kg bulunduğu açıklamasından, bulunan maddenin kaliforniyum 252 olamayacağı açık. Zaten, TAEK ölçümleri de bulunan maddenin bir radyoaktivite özelliği göstermediğini saptıyor.

Not: Bu yazımız, tüm diğer yazılarımız gibi, bir yerden aynen çeviri ya da aktarma olmayıp kaliforniyum maddesiyle ilgili güvenilir bir dizi bilimsel ve teknik raporun incelenip, karşılaştırılarak değerlendirilmesi sonucu, bu konuda bugünkü bilim ve teknolojideki gelişmeleri, olduğu gibi, özetle yansıtmaya çalışıyor. Konuyla yakından ilgilenmeyenler aşağıdaki çerçeve içindeki bölümleri isterlerse atlayabilirler.

Kaliforniyum nasıl bir madde?

Doğada bulunmayan, ‚özel yapım hızlandırıcılarda (reaktörlerde)' yapay olarak üretilen ve nükleer fizikte Cf simgesiyle gösterilen kaliforniyum (Californium) radyoaktif bir maddedir. Kaliforniyum' un özgül kütlesi demirden 2 kat kadar daha büyük olup (15,1 gram/cm^3) elementlerin yer aldığı periyodik cetvelde /2/, uranyum ötesi (transuran) 98 atom numaralı bir elementtir. Kaliforniyum'un 20 izotopu bulunuyor (atom çekirdeğinde farklı sayıda nötron bulunan örnekleri ya da radyoizotopları. Bunlar içinde teknolojide en çok kullanılanı 252 kütle numaralı izotopu olan Cf 252'dir. Cf 252'nin yarılanma süresi yaklaşık olarak 2,6 yıl (Atom çekirdeği bozunarak yarıya inene kadar geçen süre). Kaliforniyum 252'nin en önemli özelliği, bundan çok az miktarın, çok sayıda nötron yayınlamasıdır: 1 mikro gramı (gramın milyonda biri) dakikada 140 milyon nötron yayınlıyor. Bu nedenle yoğun nötron kaynağı olarak çok çeşitli uygulama alanları var.
NASA'nın çektiği süpernova fotoğrafında Cf 254 spektrumunun belirlendiği açıklanmıştır.



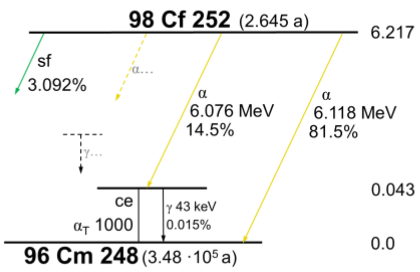
Kaliforniyum ilk kez nasıl ve nerede üretildi?

Kaliforniyum ilk kez 1950 yılında ‚California Berkeley' üniversitesinde, özel bir hızlandırıcıda (Cyclotron), 1 mikrogram kadar küryum (curium) atom çekirdekleri, 35 MeV'luk enerjili Alfa tanecikleriyle (= Helyum atomunun çekirdekleriyle) çarpıştırılmasıyla çok az miktarda (5000 atom kadar) kaliforniyum 245 elde edilebildi. Kaliforniyum adını, bu nedenle California Üniversitesinden alıyor.

Küryum'dan (Simgesi: Cm), alfa (He) bombardımanıyla kaliforniyum elde edilmesi ve nötron salınması nükleer fizikte aşağıdaki şekilde gösteriliyor:

$$^{242}_{96}\mathrm{Cm} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \longrightarrow {}^{245}_{98}\mathrm{Cf} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$$

Bu şekilde oluşan Cf 245'den bir dizi ara atom çekirdekleri ve sonra da Cf 252 ortaya çıkıyor.



Kaliforniyum 252 üretildikten sonra, 2,6 yıllık yarılanma süresiyle, yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi, kendiliğinden bozunmaya başlıyor. Görüldüğü gibi ‘ani çekirdek bölünmesi’yle (sf: spontan fission) % 3 oranında ortaya çıkan nötronların yanı sıra bir dizi alfa (% 97 oranında), gama ve diğer radyasyonlar da yayınlanıyor. Ortalama 2,1 MeV enerjideki nötronların enerjileri 0,7 ile 15 MeV arasında değişiyor (Bkz: Birimler). Alfalar büyük kütleleri ve elektrik yükleri nedeniyle madde içinde 1-2 mm bile ilerleyemeden soğurulurlarken (frenlenirlerken), elektrik yükü olmayan, hızlı nötronlar ise bu giricilikleriyle maddeye kolayca girebiliyorlar ve daha uzun yol alarak etkili olabiliyorlar. Teknolojide Cf 252’nin yerinin başka maddelerle doldurulamaması da bu özelliğinden geliyor.

Not: Yukarıdaki Şekil’deki sayılardaki noktalar virgül anlamında olup Cf 252’nin yarılanma süresi kabaca 2,6 yıldır (yıl= a). Bazı kaynaklarda, virgül noktayla karıştırıldığından Cf 252’nin yarılanma süresi, 2, 65 yıl yerine, yanlış olarak 2645 yıl olarak veriliyor.

Kaliforniyum 252 bugün dünyada nasıl ve nerede üretiliyor, neden çok pahalı?

Kaliforniyum çok az miktarda (mikrogram= gramın milyonda biri düzeyinde) dünyada sadece iki yerde üretilebiliyor. Bunlar: ABD Oak Ridge National Lab ve Rusya’da Dimitrowgrad Araştırma Enstitüsü. Kaliforniyum 252, 1950’deki ilk üretiminden sonra 1954 yılında Oak Ridge’de Yüksek Akı‘lı İzotop Reaktöründe (HFIR) yılda 25 mg (mg=gramın binde biri) üretilebildi. Bu reaktörde, berkelyum 249 izotopu nötronlarla bombardıman edilip berkelyum 250 ve bundan da bozunmayla Cf 250, ve daha sonraki nötron bombardımanlarıyla da Cf 252 elde edildi. Ayrıca plütonyum, amerisyum ve küryum’un da uzun yıllar (7-8 yıl) bombardıman edilmesiyle miligram düzeyinde Cf 252 üretilebiliyor.

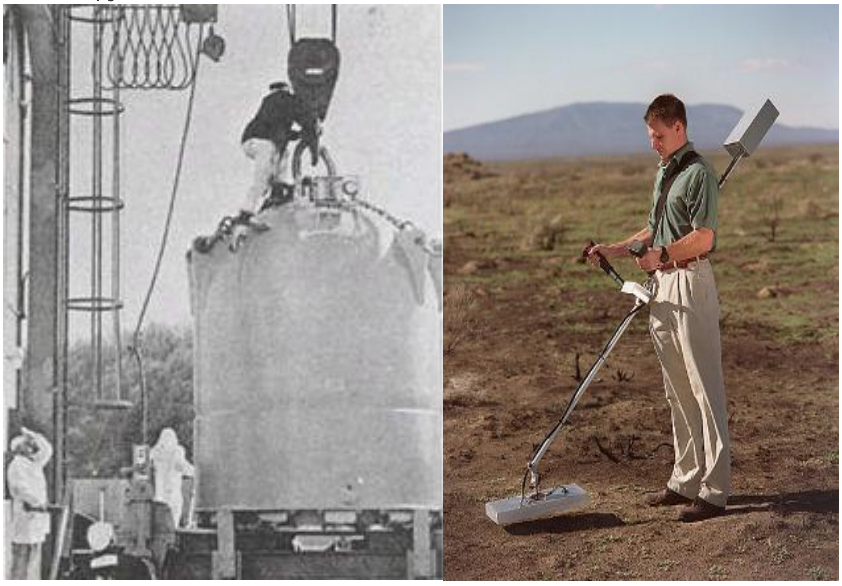
Rusya Dimitrowgrad’da da yılda sadece 25 mg Cf 252 üretilebiliyor. Hem 7-8 yılda üretilebilmesi hem de özel reaktör, araç ve gereç gereksinimi sonucu ve daha bir dizi laboratuvar işlemi sonucu Cf 252’nin fiyatı çok yüksek ve dünyanın en pahalı maddesi: 1 gramı 30 milyon dolar kadara satılıyor. Ancak çeşitli kullanım alanlarında, detektörlerde mikrogram ile miligram arasındaki çok az bir miktar yeterli olabiliyor. Dimitrowgrad’da üretilen Cf 252 örneğin Fransa’daki Areva reaktörlerine yollanıyor ve orada reaktörleri işletmeye başlatmak için nötron kaynağı olarak kullanılıyor. Yakında Rusya’dan, Çin’deki reaktörlere de yollanacağı medyada açıklanıyor.



Yuarıdaki fotoğraf:Kaliforniyum 252'nin üretildiği Rusya'daki Dimitrowgrad Atom Araştırma merkezindeki atom çekirdeklerini hızlandıran özel reaktör (Bunun nükleer santrallardaki reaktörlerle bir ilgisi bulunmuyor)

Kaliforniyum nasıl taşınıyor, gönderiliyor? 1 gram Cf 252 için 50 tonluk zırhlı kap

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi kaliforniyum 252, çok sayıda nötronların yanı sıra alfa ve gama ışınları da yayınlıyor. Bu nedenle, kaliforniyum 252, üretildiği yerden ancak kapsüllenmiş olarak, paslanmaz çelik ya da zirkaloy'dan yapılmış kalın duvarlı ağır zırhlı özel kaplar içine konularak taşınabiliyor ya da başka yerlere gönderilebiliyor /3/. 1 gram'dan az Cf 252 için 50 tonluk taşıma kabı gerekiyor ve radyoaktif maddenin kaza, yangın gibi durumlarda çevreye saçılmaması için taşıma kabının son derece güvenli / korumalı olması gerekiyor (Bkz. Resim)ç



Soldaki resim'de, 1 gram kaliforniyumu çevresine radyasyon saçmadan ve kazalara karşı güvenli olarak taşıyabilmek için kullanılan 50 tonluk devasa zırhlı kabın büyüklüğü görülüyor. Sağda, Cf 252 radyoaktif maddeli nötron salan bir detektörün yerleştirildiği, ‚kara mayınları' aramasında kullanılan alet gösteriliyor.

Dünyada piyasada ne kadar Cf 252 var?

CF 252'nin yarılanma süresinin 2,6 yıl gibi epey kısa olması sonucu, 80'li yıllardan önce üretilen Cf 252'nin bugün artık radyoaktif bozunmayla kendiliğinden yok olmuş olması önemli bir özellik ya da avantaj. Dünyada piyasada bulunan toplam miktarın bugün 100 mg'dan az olduğu kestiriliyor.

Kaliforniyum 252 tıp ve teknolojide ne amaçla kullanılıyor?

Çok az miktardaki Cf 252'nin çok sayıda nötron yayınlaması ve bunların madde içindeki yüksek giriciliği nedeniyle kanser hastalıklarında özellikle ameliyat edilemeyen ve diğer radyasyon tedavisinin etkin olmadığı durumlarda, beyin tümörlerinin öldürülmesinde Cf 252 yararlı olabiliyor. Cf 252, en çok tıpta nötron radyolojisinde kullanılıyor (1994 de: %77 oranında tıpta). Cf 252'li eriyiğe saç kalınlığında teller batırılarak bunlar Cf 252'yle kaplanıyor. Sonra bu incecik teller küçük parçalar halinde kesiliyor ve bunlardan biri hastanın beyin tümörüne yerleştirilerek sadece tümörün çok sayıda nötronla yoğun olarak ışınlanması ve çevredeki sağlıklı dokuların zarar görmemesi sağlanıyor.
Cf 252 nükleer reaktörler işletilmeye başlatılırken nötron kaynağı (ya da tetikleyici) olarak da % 7 oranında kullanılıyor (1994). Ayrıca nötron detektörü olarak bazı önemli malzemelerin içindeki yabancı maddelerin tanımında (aktivasyon analiziyle) de % 6 oranında kullanılıyor. Örneğin, nükleer reaktörlerin kontrol çubuklarındaki, uçak ve silah malzemelerindeki bozuklukların ortaya çıkarılmasından, patlayıcı maddelerin bulunmasına kadar ‚nötron detektörleri' olarak da çeşitli

kullanım alanları bulunuyor. Cf 252 ile metallerdeki korozyon, bozukluk, ince çatlaklar, malzemelerdeki nem ortaya çıkarılabiliyor. Açılan petrol kuyularında su ve petrol tabakalarının belirlenmesinde, altın ve gümüş yataklarının bulunmasında, hatta yeraltı sularının hareketlerinin izlenmesinde de Cf 252 de kullanılabiliyor. Taşkömür ve çimento sanayiinde de, maddelerin analizlerinde Cf 252 kullanılabiliyor. Ayrıca kara mayınlarının aranıp bulunmasında da elektrik süpürgesi benzeri aletin tabanına yerleştirilmiş nötron detektöründe Cf 252 bulunabiliyor (Şekil, dünyada 110 milyon henüz ortaya çıkarılmamış kara mayını olduğu kestiriliyor). Kaliforniyum bunlardan başka, uranyum ötesi yapay izotopların üretiminde de nötron kaynağı olarak kullanılıyor. Örneğin, sonradan Lawrensyum olarak adlandırılan 103 atom numaralı elementin yapımı, ilk kez 1961'de kaliforniyum'un boron atom çekirdekleriyle çarpışması sonucu oldu. 2006 yılında Oganesson adı verilen 118 atom numaralı elementin de Cf 249'un, Ca 48 atom çekirdekleriyle çarpıştırılması sonucu elde edildiği ve bu yeni elementten 3 atomun belirlendiği bir Rus araştırma merkezince açıklandı.

Kalforniyum atom bombası yapımında kullanılabilir mi?
Kaliforniyum izotopları içinde, atom bombası yapımı için krtitik kütlesi 5 kg ile en elverişli izotop Cf 251 , dir. Bu küçük miktara rağmen, bundan piyasada bulunamaması, yapılmasının ise özel reaktörlerde dahi çok uzun yıllar gerektireceği ve bununla ilgili bilim ve teknolojinin ancak özel bir kaç araştırma merkezinde bulunması gibi nedenlerle atom bombası yapımı için kaliforniyumun elverişli bir madde olamayacağı açık.

Cf 252'nin radyasyon sağlık riski?
Cf 252'nin özgül radyoaktivitesi çok yüksek: $2x10^{13}$ Bq/g (Atomgramı başına, Cf 252'nin saniyede bozunan atom çekirdeği sayısı). Bu nedenle vücut dışından girici nötron ve gamalarla, vücut içinden de ayrıca alfalarla etkinliği çok yüksek olduğundan 1 nolu risk grubunda bulunuyor.
Bir kaza sonucu, kaliforniyum vücuda besinler yoluyla ya da havayla girerse, % 65 kemiklerde ve %25 karaciğerde yerleşiyor ve yoğun olarak alfa ve gamalarla vücuda etkili oluyor. Vücutta kalış süresi 20 ile 50 yıl arasında değişebiliyor ve kansere neden olabiliyor. Bu nedenle gerek üretiminde gerekse laboratuvar analizlerinde, taşınmasında ve kullanılmasında çok dikkatli olunması, ilgili koruyucu önlemlerin alınması gerekiyor.

Sonsöz
1,5 kg değil, mikrogram ya da miligram düzeyinde bile olsa, Ankara'da ele geçirilen maddenin, TAEK ölçümleriyle kaliforniyum 252 olmadığının ortaya çıkarılması sevindirici olmuştur. Bir kaç tonluk zırhlı kaplar yerine, medyadaki resimlerinden cam tüpler içinde taşındığı görülen madde, eğer kaliforniyum 252 olsaydı, gerek taşınma sırasında taşıyanlar, gerekse daha sonra gümrük memurları ve yakındakiler aşırı ışınlanıp yüksek radyasyon dozları alabilirlerdi. Ayrıca olabilecek bir kaza durumunda yakın çevre Cf 252 radyoaktivitesiyle kirlenebilirdi. TAEK'nın belirlediği radyoaktif olmayan maddenin, ne amaçla kaçırılıp götürüldüğü ve neden kaliforniyum 252 adının geçtiği ise bilinmiyor ve bu, yazımızın çerçevesi dışında.
<u>Birimler:</u>
<u>Radyoaktif madde, radyoaktivite ve birimi:</u> Atom çekirdeğinden kendiliğinden ışınlar ya da tanecikler (alfa,beta, gama, nötron) yayınlayan maddelere radyoaktif maddeler, bu özelliğe de radyoaktivite diyoruz.
<u>Becquerel</u> (Bq): 1 Bq: Atom çekirdeğinde saniyede 1 adet boznum (parçalanma) olduğunda o radyoaktif maddenin radyoaktivitesi 1 Bq' dir. Radyoaktif maddelerin atom çekirdeklerinde milyarlarca bozunum olduğundan ‚küçük' Bq birimi sonucu sayılar büyüyor ve radyoaktivitesi çok az olan bir radyoaktif madde, konuya yabancı olanlarca, sanki çok aşırı radyoaktiviteli bir madde gibi anlaşılıyor. Eski birim olan Curie ise tam tersi ‚büyük' bir biimdir: **1 Curie** saniyede 37 milyar bozunum ya da 37 milyar Bq'dir. Ayrıca sadece Bq sayısı ilgili radyoaktif maddenin tehlike ölçüsü değil, her

bozunumda yayınlanan ışın ya da taneciklerin enerjilerinin bilinmesi de gerekir.Ancak böylelikle vücuda etkisi ya da vücutta ne miktarda radyasyon dozu oluşturacağı belirlenebilir.

Elektron Volt (eV), Kilo elektron Volt (KeV), (Milyon elektron Volt (Mev): eV, radyasyon enerji birimi olup, 1 eV: 1 elektronun 1 Voltluk potansiyel farkı altında kazanacağı kinetik enerji miktarıdır.

1 KeV= 1000 eV, 1 MeV= 1 Milyon eV; 1 eV çok küçük bir birimdir: 1 eV= 1,6x 10(-19) Joule.

1 Joule=1 Watt (Elektrikte güç birimi = saniyede üretilen ya da tüketilen enerji mikarı olup bu birim de pratikte çok küçüktür: 1 Joule: 100 gramlık bir çukulata paketini 1 m yukarı kaldırmak için gerekli enerji miktarıdır /4/.

Bağlantılar:

/1/ https://www.ntv.com.tr/turkiye/turkiye-atom-enerjisi-kurumundan-kaliforniyum-aciklamasi,

/2/ www.periodensystem-online.de/index.php?id=isotope&el=98&mz=252&show=nuklid

/3/https://www.grs.de/sites/default/files/pdf/grs-343.pdf

/4/ Radyoaktif maddeler ve radyasyonla ilgili ayrıntılı bilgiler için bkz/:
Radyasyon ve Sağlığımız kitabı: https://www.nobelkitap.com/kitap_113005_radyasyon-vesagligimiz.html
(Nobel yayınları 2014, Y.Atakan)